

Prise en main du module BLE Artemis pour l'apprentissage automatique



Nathan Seidle (États-Unis)

Le module Artemis est le premier module open-source sans-fil pour l'apprentissage automatique (reconnaissance vocale), avec liaison Bluetooth à faible consommation (BLE). Quelle puissance étonnante concentrée dans une carte de 10 × 15 mm ! Voici un tutoriel pour vous guider à travers les possibilités du module Artemis et vous aider à établir les bases de son intégration dans vos propres projets !

SparkFun a longtemps éludé l'obtention d'un certificat FCC. La démarche restait opaque et le coût rédhibitoire. Cependant, nous avons déjà travaillé sur les exigences de la FCC pour les produits et les projets de loisirs. Avec le développement du SparkFun Edge et la création d'Artemis, le moment de nous jeter à l'eau était arrivé.

En octobre 2018, nous avons rencontré une équipe de TensorFlow pour faire une carte à faible consommation avec la nouvelle Apollo3 d'Amiq. À l'examen rapide de ses caractéristiques, il apparut que cette carte était aussi stimulante qu'excitante ! 1 Mo de flash, près de 400 Ko de RAM et une microconsommation : nous pouvions rêver de possibilités bien au-delà de l'ancienne Uno. Pour relever le défi du BGA à 81 billes avec un pas de 0,5 mm, il fallait hisser notre savoir-faire d'un cran. Les difficul-

tés rencontrées et surmontées sont relatées dans un blog de 2019 ; www.sparkfun.com/news/3122.

Avant d'aborder Artemis, nous vous recommandons de consulter ces tutoriels.

- Carte à circuit imprimé, bases. Qu'est-ce ? Ce tutoriel présente les constituants d'une carte à circuit imprimé (PCB) et certains termes d'usage courant dans ce domaine. [1]
- Utilisation d'EAGLE : agencement de la carte. La 2^e partie du tutoriel couvre la façon de disposer les composants sur une carte une fois son schéma dessiné. [2]
- Bluetooth, bases. Aperçu de la technologie sans fil Bluetooth. [3]
- Programmation ARM. Programmation des cartes SAMD21, SAMD51 ou autres processeurs ARM. [4]

Aperçu du matériel

Cette partie couvre les détails techniques d'Artemis, comme ses caractéristiques physiques et électriques. Si vous avez déjà une carte de développement dotée d'un module Artemis, vous pouvez sauter cette partie et vous rendre aux **Caractéristiques exclusives**. Cela dit, vous souvenez-vous de ce que cache ce module ? Jetez un coup d'œil à la **figure 1**.

Apollo3

Le noyau du module Artemis est l'Apollo3 d'Amiq [5]. Il s'agit d'un ARM Cortex-M4F (F indique des opérations en virgule flottante) avec 1 Mo de flash et 384 K de RAM. La fiche technique est disponible sur [6].

Antenne BLE

L'Apollo3 comporte une puce RF Bluetooth 5.0 intégrée et le module Artemis a une antenne 2,4 GHz soudée (gain de 2 dBi).

Convertisseur CC abaisseur embarqué

L'Apollo3 peut fonctionner de **3,6 à 1,8 V**. Une plage aussi large, est obtenue par 2 régulateurs CC intégrés qui abaissent la tension VCC d'entrée à la tension de la puce avec un rendement dépassant 80 %. Le module Artemis comprend 2 selfs pour réduire au mieux la consommation d'énergie.

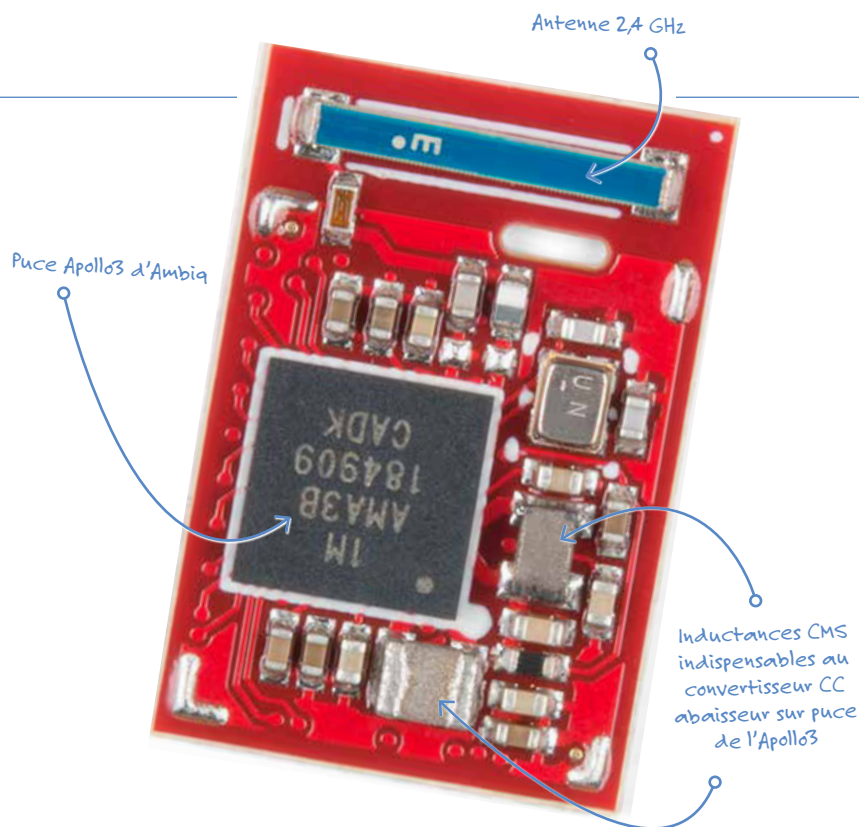


Figure 1. Blindage RF ôté, les éléments remarquables du module Artemis apparaissent.



Figure 2. Artemis, minuscule et léger.

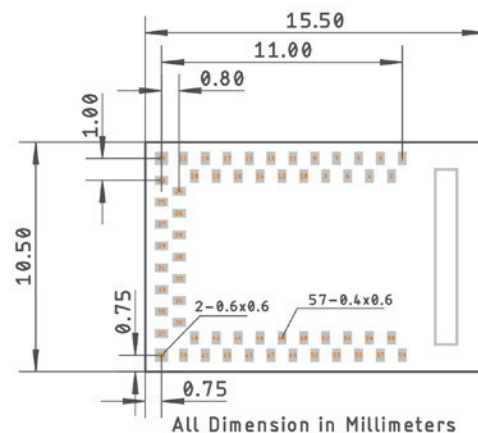


Figure 3. Empreinte CMS recommandée pour le module Artemis. Vue de dessus.

Dimensions

Le module Artemis mesure $15,5 \times 10,5 \times 2,3$ mm et pèse 0,6 g (fig. 2).

Empreinte recommandée

La figure 3 montre la disposition recommandée du circuit imprimé d'accueil du module. Les dimensions et considérations spécifiques sont consignées dans le guide d'intégration Artemis [7]. Si vous utilisez EAGLE PCB, clonez simplement l'un de nos modèles open-source qui utilisent Artemis (RedBoard [8], RedBoard Nano [9], et RedBoard ATP [10]) et commencez à dessiner votre carte ! Artemis apparaît vu de dessous sur la figure 4.

L'Apollo3 est un CI puissant, mais son boîtier BGA de 0,5 mm nécessite une carte imprimée à 4 couches avec des vias enfouis et remplis d'époxy. Cela rend la carte coûteuse et difficile à produire. Nous avons conçu le module Artemis pour vous débarrasser de ces soucis.

Une carte accueillant Artemis (fig. 5) ne nécessite qu'un circuit imprimé à 2 couches et des pistes/espacements de 8 mil. Le routage sous le module est autorisé. Éloignez tous les conducteurs de masse de la zone d'antenne. Si l'exposition mécanique le permet, l'antenne peut être étendue sur le bord de la carte pour améliorer la réception.

Caractéristiques exclusives

Les fonctionnalités d'Artemis sont impressionnantes. Nous allons en donner un aperçu, mais n'oubliez pas d'étudier les exemples inclus dans le noyau d'Arduino ainsi que le SDK d'Ambiq pour en savoir plus.

Souplesse d'affectation des pastilles CMS

Le module Artemis dispose de 48 GPIO à capacité d'interruption et d'une série d'autres périphériques. Les 2 UART matérielles peuvent être réaffectées à une série d'autres pastilles, et il y a 16 sorties PWM totalement indépendantes. Un CAN rapide à 14 bits est connecté à 10 pastilles. Utilisez les maîtres SPI ou I²C disponibles sur 6 jeux de pastilles.

C'est loin d'être tout – la couche d'abstraction matérielle (HAL) met à disposition PDM (modulation de densité d'impulsions), SSC, et DMA (accès mémoire direct). Consultez la carte des fonctions des broches d'Apollo3 [11], la fiche technique d'Apollo3 [12] et le SDK/HAL d'Ambiq [13] pour plus d'informations. Ne craignez rien, nous avons de nombreux exemples d'utilisation des E/S.

Cortex-M4F

Artemis exploite une puce à noyau l'Apollo3 d'Ambiq. Ce dernier comprend un ARM Cortex-M4F fonctionnant à 48 MHz avec un mode rafale optionnel à 96 MHz. Ce puissant noyau peut être programmé avec GCC ainsi qu'avec Keil, IAR, et débogué avec



Figure 4. Module Artemis de dessous.

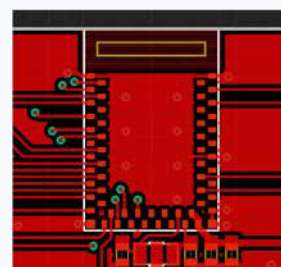


Figure 5. Exemple d'Artemis sur un circuit imprimé.

Ne manquez pas le train Artemis

Pour tout savoir sur Artemis, son historique et sa disponibilité, consultez ces pages :

Création d'Artemis :

www.sparkfun.com/news/3122

Création d'une carte fille RF :

www.sparkfun.com/news/3123

Obtention d'un module certifié FCC :

www.sparkfun.com/news/3124

Communiqué de presse :

<https://bit.ly/3b2Zpd7>

Création d'un blog RF Shield :

<https://www.sparkfun.com/news/3123>

Page écosystème :

<https://www.sparkfun.com/artemis>

Article du blog Hackster :

<https://bit.ly/38XR0i>

divers outils JTAG récents. [14]

BLE

Artemis intègre un module Bluetooth 5.0 capable de transmettre jusqu'à 4 dBm, ce qui devrait vous permettre d'atteindre une portée d'environ 70 m. Nous avons vu des commandes RSSI passées à plus de 70 m.

PWM

Avec 31 des 48 broches activées PWM, vous avez de quoi faire ! Consultez la fiche technique graphique [15] et la carte des broches pour vérifier quelles broches ont des capacités PWM.

Interruptions

Chaque broche peut être configurée pour produire une interruption et sortir le processeur du sommeil profond. De plus, 29 des 49 broches ont une résistance de rappel interne activable par logiciel.

CAN à 14 bits

Alors que l'Uno d'origine avait un CAN à 10 bits, Artemis a un CAN à 14 bits - ce qui signifie que l'échelle de conversion 0 à 1023 passe à 0 à 16383. Cela permettra des lectures plus précises de capteurs analogiques (pression, lumière, son, etc.). Notez, cependant, que le CAN mesure de 0 V à 2 V. Donc si vous avez un capteur qui sort de 0 à 3,3 V, il est sans danger, mais saturera le CAN dès 2 V. Utilisez la fonction `setResolution` pour modifier la résolution des lectures entre 10 et 14 bits (10 par défaut). De plus, le CAN est **beaucoup** plus rapide (jusqu'à 1,2 Méc/s), ce qui permet d'agréger davantage de données.

Faible consommation

Ambiq, le fabricant de l'Apollo3, a fait des années de recherche sur ce qu'il appelle

la technologie SPOT™ (optimisation de la puissance sous-le-seuil). Ce sigle recouvre une technique très basse consommation obtenue en abaissant les tensions qui matérialisent un 1 ou un 0 logique. En agissant au niveau du silicium, Ambiq a réussi à mettre au point un processeur à 48 MHz consommant moins de 0,5 mA. La surveillance „permanente“ de commandes vocales, sans BLE ni connexion à Internet, absorbe environ 6 µA/MHz.

Mode rafale

Parfois, 48 MHz ne suffisent pas. Le processeur peut entrer en mode rafale à 96 MHz, ce qui permet d'effectuer des calculs internes et un contrôle en deux fois moins de temps.

atouts remarquables d'Artemis. Les microphones MEMS numériques sont plus sensibles et plus faciles à utiliser que leurs ancêtres analogiques. Artemis comporte un port PDM qui permet d'utiliser jusqu'à deux microphones MEMS, soit en mode bivoie, soit en mode de filtrage spatial.

Les résistances de rappel internes

Chaque broche a un faible rappel interne au + (activé par logiciel). En outre, les broches configurées comme ports I2C ont des résistances de rappel au + sélectionnables par logiciel (1,5 kΩ, 6 kΩ, 12 kΩ, 24 kΩ). Il n'y a plus besoin de résistances externes sur SDA et SCL.

Courant délivré sur les broches

Une exclusivité Artemis : le courant de



« La transition du prototype au produit final a toujours été chaotique - Artemis y met bon ordre en proposant un même module du prototype à la production. Ajoutez à cela l'efficacité de la plateforme d'apprentissage machine TensorFlow® et la puissance du microcontrôleur Apollo3 d'Ambiq®, et vous obtenez un outil séduisant ».

Nathan Seidle, ingénieur, fondateur de SparkFun

Note : les opérations sur les broches externes sont limitées à 48 MHz.

JTAG

La puissance des puces actuelles exige des outils de débogage modernes. Artemis est basée sur un Cortex-M4F qui possède un port JTAG réservé au débogage. Un débogueur JTAG permet de définir des points d'arrêt, d'inspecter les registres et de voir quelles instructions (assembleur et C) sont exécutées. C'est un outil dont vous n'aurez pas souvent besoin, mais si c'est le cas, il vous sortira d'affaire.

PDM

La reconnaissance vocale „toujours active“ est un des

sortie de toutes les broches GPIO est programmable. Pour chaque broche un courant maximal de 2, 4, 8 ou 12 mA peut être sélectionné. En outre, les pastilles 3 et 36 permettent de sélectionner des commutateurs de puissance côté VDDH, ($R_{on} \sim 1 \Omega$). Les pastilles 37 et 41 permettent de sélectionner des commutateurs de puissance côté VSS, ($R_{on} \sim 1 \Omega$).

Jargon (wikipedia.org)

BGA : Matrice de billes

SPOT : Subthreshold Power-Optimized Technology

HAL : Couche d'abstraction matérielle

HAL : Hardware abstraction

PDM : Pulse-density modulation

Make : Makefile



Une grande première



Approbation de la FCC/IC/CE !

Le module Artemis de SparkFun a reçu l'approbation de la FCC (Commission fédérale des communications), de l'IC (Industrie Canada) et le label européen CE, ce qui en fait le premier module BLE open-source, fabriqué aux États-Unis et certifié FCC/IC/CE. Cette certification du module Artemis permet aux concepteurs de produits d'utiliser le même module du prototype à la production, et facilite notablement l'apprentissage machine à faible consommation.

Sécurité

Le Cortex-M4F d'Artemis possède plusieurs couches de sécurité, dont le démarrage sécurisé, l'OTA, le stockage de clés, ainsi que le cryptage/décryptage à la volée de mémoire flash externe (comme une carte SD).

Programmation

Artemis se programme via l'interface JTAG standard ou un chargeur d'amorçage série (serial bootloader). Le chargement série est confié à un CH340 relié au connecteur USB [16] (fig. 6) ou, pour une programmation et un débogage avancés, diverses cartes de développement de SparkFun ont

une empreinte JTAG. Pour plus d'informations sur la programmation ARM, dont les interfaces JTAG, consultez notre *tutoriel de programmation ARM*. [17]

Chargeur d'amorçage SparkFun

Notre chargeur d'amorçage à débit flexible (SVL) est lancé à chaque mise sous tension. Que signifie exactement à *débit flexible* ? L'ordinateur et le chargeur ouvrent la communication à 9600 Bd, puis s'accordent à choisir un débit plus rapide pour le transfert du gros des données binaires. La vitesse de téléchargement peut atteindre 921600 Bd et réduire beaucoup le temps de téléchargement. En cas d'erreurs de communication à débit élevé, le *débit flexible* permet de sélectionner le débit qui fonctionne le mieux. Pour télécharger des croquis et des programmes, ce chargeur est l'outil préféré de ceux qui veulent un moyen rapide et fiable de charger de nouveaux programmes dans Artemis.

Une fois une carte cible Artemis sélectionnée, des options supplémentaires apparaîtront par la suite à l'ouverture du menu *Outils*. Les options **SVL Baud Rate** (fig. 7) permettent de choisir la vitesse de téléchargement. 921600 bps est la vitesse recommandée car c'est la plus rapide pour mettre à jour des croquis. Cependant, il existe certaines plateformes (Linux) où

les pilotes USB-série CH340 standard ne fonctionnent pas toujours bien à plus de 115200 Bd. Donc, si vous avez des erreurs de téléchargement, pensez à réduire la vitesse. Vous trouverez d'autres informations sur le forum [18], et pensez à mettre à jour les pilotes pour Mac OSX [19] ou Linux [20]. Tout comme sur les classiques Arduino Uno, Arduino Mega, etc., le chargeur est activé en réinitialisant la carte. Un simple condensateur de 0,1 µF entre les broches DTR et Reset suffit pour qu'Artemis se réinitialise et entre en mode chargement. Si au bout de 50 ms aucun nouveau microprogramme n'est détecté, le code utilisateur est exécuté. Si les discussions spécialisées (par ex. sur les chargeurs d'amorçage) vous intéressent, vous pourrez en savoir plus sur celui d'Artemis [21].

Chargeur d'amorçage Ambiq

En plus du chargeur SparkFun Artemis, nous programmons chaque Artemis avec le *Secure Bootloader* (SBL) Ambiq. Ce chargeur sera mis à profit pour les mises à jour de bas niveau des périphériques qui nécessitent une provenance sécurisée. Le chargeur est activé à la réinitialisation si la broche 47 est à 1. Il communique à 115200 Bd. Le chargeur attend alors indéfiniment de nouvelles données binaires. Un outil python et un exécutable pour commu-

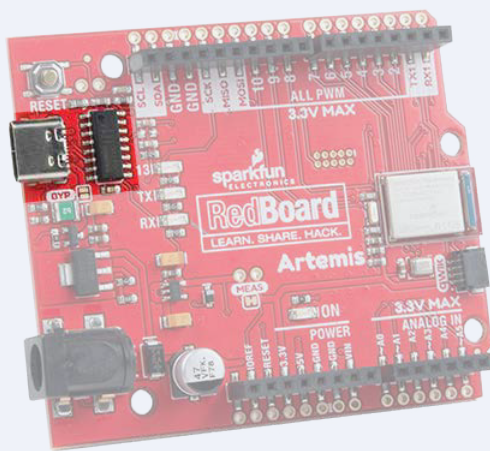


Figure 6. Connecteur USB sur RedBoard Artemis, pour le chargeur série doté du CH340.

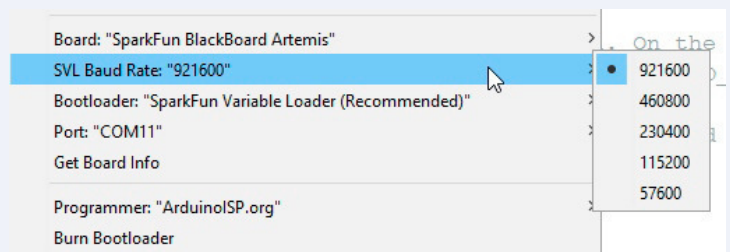


Figure 7. Téléchargez votre croquis très rapidement avec le SVL réglé sur 921600 Bd.



niquer avec ce chargeur sont fournis. Ce processus de chargement est différent de celui auquel vous êtes peut-être habitué. Sur la plupart des Arduino avec ATmega328, le chargeur STK500 est lancé à l'initialisation et à la fin du temps imparti, le code de l'utilisateur est exécuté. Le chargeur Artemis est similaire mais une autre broche (Bootload) doit être maintenue à 1. Pour une mise en œuvre d'Artemis aisée et bon marché, nous avons conçu un petit circuit RC à ajouter à votre réalisation : un circuit intégré USB-série doté du minimum de broches de contrôle (le CH340E n'a que le RTS) et permet néanmoins l'activation du chargeur d'amorçage Ambiq. Si vous devez modifier le chargeur SparkFun Artemis (décrit ci-dessus) ou utiliser la chaîne d'outils de chargement sécurisé, le circuit de la **figure 8** convient pour le chargement et utilise une seule broche (DTR ou RTS sont pris en charge).

Attention ! Vous n'endommagerez jamais l'Artemis, mais l'utilisation des outils Ambiq Secure Bootloader écrasera le bootloader SparkFun, supprimant la possibilité de téléchargement plus rapide. L'utilisation du chargeur Ambiq Secure Bootloader pour la programmation générale d'Arduino n'est pas recommandée (**fig. 9**).

« Dans notre domaine, commercialiser un produit a toujours été et reste difficile. Les démarches sont compliquées, les obstacles nombreux, et là, nous pouvons vous aider. Artemis facilite le passage rapide de grandes innovations à l'échelle industrielle ».

Glenn Samala,
PDG de SparkFun

Pour charger un nouveau code sur votre module Artemis avec la chaîne d'outils du chargeur Ambiq, sélectionnez l'option *Ambiq Secure Bootloader* dans le menu *Arduino Tools -> Bootloader*. Ces outils modifieront votre binaire, et l'encadreront de différents en-têtes de sécurité. Le chargement du code à 115200 Bd peut échouer. Si c'est le cas, cliquez à nouveau sur *upload*.

Fonctionnement du circuit RC à une broche

Le module est réinitialisé en mettant DTR (ou RTS) à 0. Au bout de 10 ms, le logiciel met DTR à 1. La broche de chargement reste à 1 pendant 100 ms, ce qui permet d'exécuter le chargeur. L'ouverture d'un port série met DTR à 0, ce qui réinitialise le module, mais comme DTR reste à 0 pendant les communications série normales, le module ne lance pas le SBL et continue à faire fonctionner le Bootloader Artemis de SparkFun.

Nous avons modifié l'outil de chargement python d'Ambiq pour que DTR et RTS soient pilotés à l'identique. Ainsi vous pouvez utiliser soit RTS soit DTR pour lancer le chargeur Artemis. Nos outils Ambiq SBL [22] font ensuite passer DTR/RTS à 1 pour lancer le chargeur d'Ambiq.

Si vous préférez, un bouton peut être inséré sur la broche de chargement coupée. Si l'utilisateur maintient ce bouton enfoncé et réinitialise la carte, elle entre en mode de chargement et y reste jusqu'à ce qu'un cycle de chargement se termine ou qu'une réinitialisation se produise. Cette méthode fonctionne bien, mais nécessite l'intervention de l'utilisateur à chaque fois qu'un programme doit être chargé.

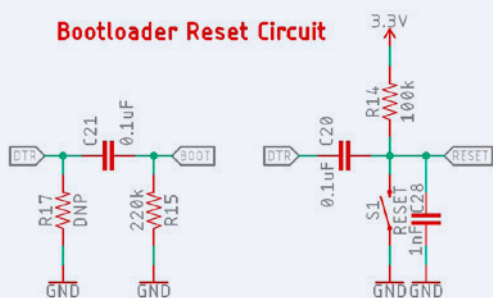


Figure 8. Ce schéma d'initialisation et d'amorçage à 1 broche pour Artemis est idéal pour tout convertisseur USB-série dont les broches de contrôle sont accessibles (CH340, CP210x, FT232, etc.).

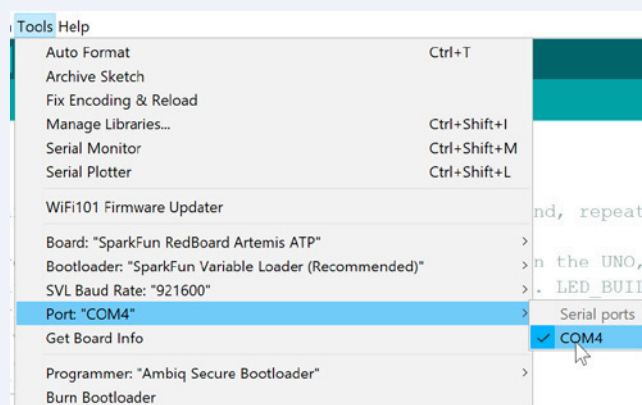


Figure 10. Sélection du port COM.

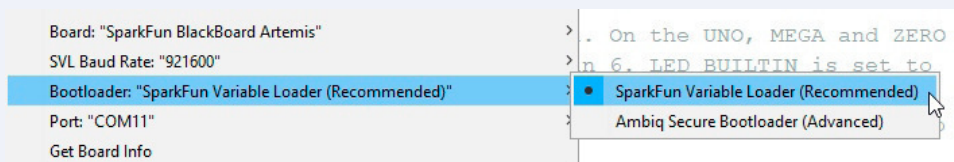


Figure 9. Ne cochez pas Ambiq Secure Bootloader si vous n'êtes pas sûr de vous.



Diagnostic des pannes

Besoin d'aide ? Si votre produit ne fonctionne pas comme prévu ou si vous avez besoin d'assistance technique ou d'informations, allez sur les forums SparkFun [23]. Vous pourrez demander et trouver de l'aide. Si c'est votre 1^{ère} visite, il faudra créer un compte [24] pour parcourir les *forums produits* et y poster des questions. Le lien [25] ouvre directement les forums Artemis de SparkFun.

Q. Par erreur, j'ai utilisé le bootloader Ambiq. Maintenant, le SparkFun Variable Loader ne fonctionne plus. Que dois-je faire ?

R. Vous n'avez pas pu vous en empêcher et vous avez chargé du code avec le chargeur Ambiq comme nous l'avons indiqué **figure 9**. C'est bon ! Pour remettre le chargeur d'amorçage SVL SparkFun, procédez comme suit :

Étape 1 : Sélectionner la bonne carte et le bon port COM dans l'EDI Arduino. Vérifiez que vous avez sélectionné la bonne carte et le bon port COM dans le menu *Outils*. COM 4 est indiqué sur la **fig. 10**, mais votre port COM peut être différent.



Accessoires

Les principaux accessoires cités dans cet article sont disponibles chez Elektor et SparkFun !



Module SparkFun Artemis - Apprentissage machine avec Cortex-M4F et BLE à faible consommation



RedBoard Artemis



RedBoard Artemis Nano



RedBoard Artemis ATP



OpenLog Artemis



Carte de développement Edge - Apollo3 Blue

www.elektormagazine.fr/esfe-en-arduino



Développement Artemis avec Arduino

Avec le noyau Arduino-Artemis des puissantes cartes RedBoard Artemis, RedBoard Artemis Nano et RedBoard Artemis ATP, vous mettez moins de 5 min pour faire clignoter une LED !



Guide de raccordement de la RedBoard Artemis

Débutez avec la RedBoard Artemis - toutes les fonctions du module Artemis logées une carte au format Uno.





Étape 2 : Sélectionner *Graver la séquence d'initialisation* dans le menu *Outils*.

La **figure 11** indique la sélection qui amènera Arduino à utiliser le chargeur Ambiq pour recharger le SparkFun Variable Loader via le port série.

Étape 3 : Sélectionner à nouveau SVL comme chargeur.

Ne recommençons pas, d'accord ? Choisissez le chargeur SVL (**fig. 12**). Vos croquis seront de nouveau téléchargés à grande vitesse.

Pour approfondir

Les liens suivants (voir à la fin de l'article) sont particulièrement utiles pour accéder rapidement aux ressources d'Artemis : [5], [7], [11], [12], [13], [14], [17], [21] et [22].

Prêt à utiliser Artemis dans l'EDI Arduino ? Consultez le tutoriel sur le développement Artemis avec Arduino. [27]

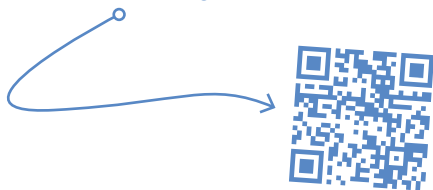
Êtes-vous à l'aise avec un fichier *make* et un autre EDI ? Suivez le tutoriel sur la configuration du SDK Ambiq Apollo3. [28]

Artemis a été conçu et validé pour toute la gamme de plus de 100 cartes Qwiic de SparkFun. Consultez notre site, inspirez-vous des exemples et branchez simplement capteurs et sorties désirés pour réaliser une application que, sans ces accessoires, vous auriez crue hors de votre portée !

(200685-01 – VF Yves Georges)

Espace Elektor en ligne pour cet article :

www.elektormagazine.fr/esfe-en-artemis



L'union fait la force !
Artemis est le fruit d'une intense collaboration des équipes de TensorFlow et d'Ambiq Micro.

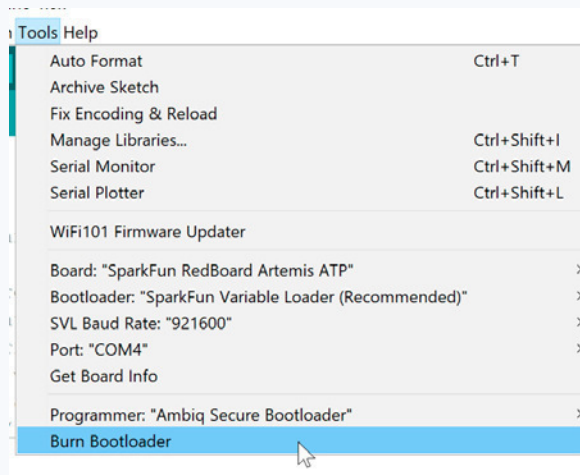


Figure 11. Dans le menu *Outils*, sélectionnez : *Graver la séquence d'initialisation*.

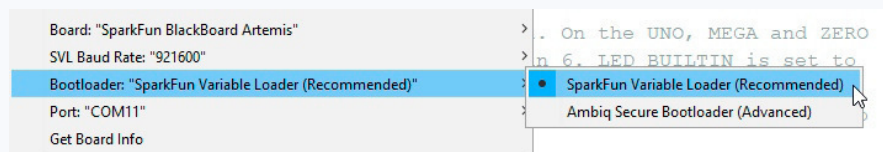


Figure 12. Oui, c'est comme la figure 9. Cochez cette fois chargeur variable SparkFun.

LIENS

- [1] Cartes à circuit imprimé, bases : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pcb-basics>
- [2] Utilisation d'EAGLE : <https://bit.ly/3rLBDYW>
- [3] Bluetooth, bases : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>
- [4] Programmation ARM : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arm-programming>
- [5] Ambiq: <https://ambiq.com>
- [6] Fiche technique d'Ambiq Apollo3 : <https://bit.ly/3b8uxb8>
- [7] Guide d'intégration Artemis : <https://bit.ly/3rLALn8>
- [8] RedBoard Artemis : <https://www.elektormagazine.fr/esfe-en-artemis2>
- [9] RedBoard Artemis ATP: <https://www.elektormagazine.fr/esfe-en-artemis3>
- [10] BlackBoard Mega: <https://www.elektormagazine.fr/esfe-en-artemis4>
- [11] Fonctions des broches d'Apollo3 : <https://bit.ly/3hHtY9F>
- [12] Fiche technique d'Apollo3 : <https://bit.ly/2Lkjllh>
- [13] Ambiq SDK/HAL: <https://ambiq.com/apollo3-blue/>
- [14] Outils JTAG : <https://www.sparkfun.com/categories/tags/jtag>
- [15] Fiche technique graphique d'Artemis : <https://bit.ly/39eBG7p>
- [16] Chargement via série-USB CH340 : <https://bit.ly/3rNBCnz>
- [17] Tutoriel de programmation ARM : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arm-programming>
- [18] Article de forum : <https://bit.ly/3rUDJ8O>
- [19] Pilotes pour Mac OSX : <https://bit.ly/354YgOb>
- [20] Pilotes pour Linux : <https://github.com/juliagoda/CH341SER>
- [21] Le chargeur d'amorçage Artemis : <https://bit.ly/392ZEIA>
- [22] Outils Ambiq SBL : <https://bit.ly/38aqlm>
- [23] Forums SparkFun : <https://forum.sparkfun.com/index.php>
- [24] Créer un compte sur le forum : <https://forum.sparkfun.com/ucp.php?mode=register>
- [25] Forum Artemis : <https://forum.sparkfun.com/viewforum.php?f=163>
- [26] Tutoriel de conception Artemis avec Arduino : <https://bit.ly/2XbG8hk>
- [27] Installation du SDK Ambiq Apollo3 : <https://bit.ly/3ncdbfX>
- [28] Cartes SparkFun Qwiic : <https://www.sparkfun.com/qwiic>